

## 식물성절연유를 사용한 전력 변압기의 유동점 부근에서의 전기적 특성

최순호, 방정주, 정중일, 허창수  
인하대학교

### Electrical Properties of Power Transformer using Vegetable oils near the Pour Point

Sun-Ho Choi, Jeong-Ju Bang, Jung-Il Jung, Chang-Su Huh  
INHA University

**Abstract** - 현재 우리나라를 비롯하여 전세계적으로 친환경적인 물질이 트렌드로 각광받고 있다. 친환경 식물성절연유는 이러한 트렌드를 바탕으로 광유를 대체할 수 있는 물질이다. 친환경 식물성절연유는 광유에 비해 많은 특성이 우수하지만 냉각과 절연에 영향을 미치는 점도와 유동점이 높다는 단점을 가지고 있다. 환경적인 영향을 받는 유동점에 대한 전기적 절연특성은 장기적 안정성을 중요시하는 전력분야에서는 반드시 확인해야 하는 부분이다. 그렇기 때문에 실제 식물성절연유를 채운 변압기를 일정시간 냉각시켰고 뇌임펄스 시험을 진행한 결과 전파 100%에서 문제가 발생하였다는 것을 알 수 있다. 절연유의 냉각이 절연에 문제를 발생시킨다는 점을 인지하고 식물성절연유를 설계할 시 환경적인 영향을 고려하여 설계·제작해야 한다는 점을 알 수 있다.

을 사용하여 그림 1과 같이 내부사이즈 1000×1200×1400[mm]의 크기로 제작하였고 챔버의 두께는 100[mm]이다. 이동 중에 챔버 내의 온도를 유지시키기 위해 드라이아이스를 사용하여 챔버 내부의 온도를 -30℃ 이하로 유지시켰다. 뇌임펄스 시험은 공인인증기관인 전기연구원에서 KS C IEC 60076-4를 기준으로 시험을 진행하였고 시험의 순서는 전파 50% 1회, 제단파 50% 1회, 제단파 100% 2회, 전파 100% 2회 순으로 시험을 실시하였다.

#### 1. 서 론

기존의 유입변압기에서 사용되는 광유는 낮은 발화점으로 인한 폭발 위험성과 유출시 발생하는 환경오염 등의 문제를 가지고 있는데 이를 해결하기 위한 대체물질로 친환경 식물성절연유 사용이 대두되었다. 식물성 절연유는 화학적, 전기적 특성이 광유에 비해 더욱 안정된 수치를 보이고 있지만 높은 점도와 유동점이 단점으로 부각되고 있다. 대용량 유입변압기의 경우 점도특성이 높을 경우에 강제순환시 낮은 열 배출능력으로 보여주고, 국내의 환경적인 영향을 고려하였을 때 광유에 비해 비교적 높은 유동점은 식물성절연유의 고체화현상 때문에 전기적 절연에 문제를 일으킬 수 있다. 본 논문에서는 냉각에 따른 전기적 특성변화를 알아보기 위해 실제 변압기를 냉각시킨 후 뇌임펄스 시험을 진행하였고 그에 따른 변압기 절연특성을 분석하였다.



〈그림 1〉 냉동챔버 내의 변압기 및 운반용 냉동챔버 내의 변압기

#### 2. 본 론

##### 2.1 절연유 특성

국내 'D사'에서 출시킨 식물성절연유의 경우에 표 1에서와 같이 점도와 유동점을 비교해 보면 많은 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 식물성절연유의 점도 특성은 온도에 따라 4~5배 차이가 나고 유동점은 약 30℃ 정도의 차이를 보인다. 국내에서는 겨울철의 기온이 식물성절연유의 유동점에 충분히 접근하고 만약에 변압기의 사고 후 장시간이 지나면 절연유의 고체화가 진행된 후에는 안정적인 절연을 보장할 수 없다는 것을 예상할 수 있다.

〈표 1〉 광유와 식물유의 특성

CHARACTERISTIC		MINERAL OIL	VEGETABLE OIL
VISCOSITY	40℃ [cST]	7.800	35.12
	100℃ [cST]	2.240	8.010
POUR POINT		-50	-21

##### 2.2 시험방법

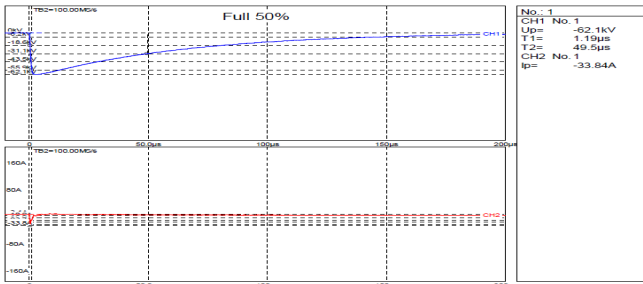
식물성절연유를 채운 변압기를 -21℃를 유지하고 있는 냉동챔버를 사용하여 일정시간 이동 도중 변압기의 상태변화를 방지하기 위해 우레탄



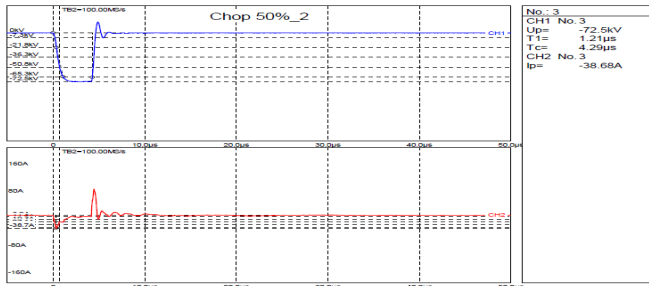
〈그림 2〉 뇌임펄스 시험

##### 2.3 뇌임펄스 시험 결과

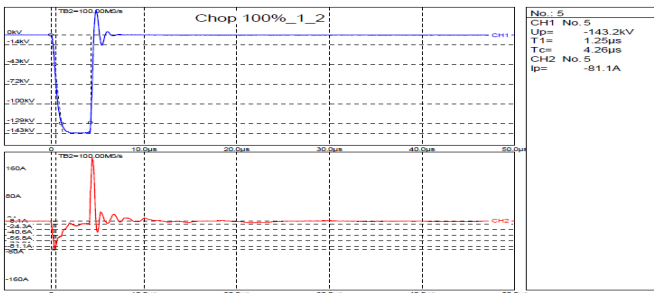
시험을 진행할 때 식물성절연유 유입 변압기의 내부는 고체상태를 유지하였고 시험을 실시한 결과 제단파 100%까지는 일정하게 건디는 것을 알 수 있었다. 하지만 전파 100% 1차 이후에는 권선에서의 전류가 측정범위를 벗어나 급격히 증가하는 현상이 발생하였다. 이에 일정한 회복시간을 준 후 2차 시험을 실시한 결과 1차와 같은 높은 전류를 확인하였고 파형을 통해 급격한 뇌임펄스로 인하여 권선단락과 같은 권선절연에 이상이 생겼음을 알 수 있었다.



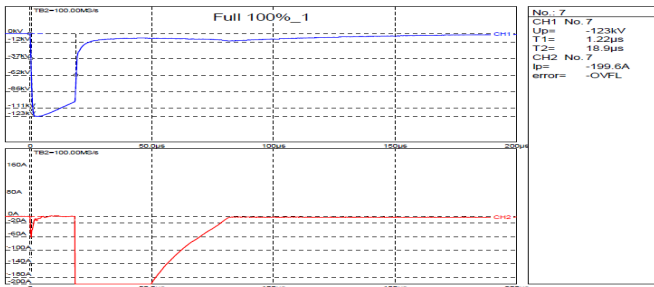
〈그림 3〉 반파파(Full 50%) 파두장: 1.19 $\mu$ s, 파미장: 49.5 $\mu$ s



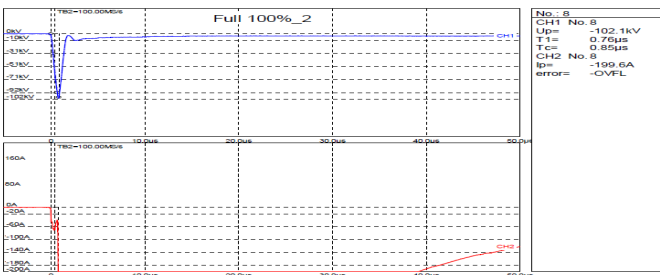
〈그림 4〉 재단파(Chop 50%) 파두장: 1.21 $\mu$ s, 재단시간: 4.29 $\mu$ s



〈그림 5〉 재단파(Chop 100%) 파두장: 1.25 $\mu$ s, 재단시간: 4.26 $\mu$ s



〈그림 6〉 전파(Full 100% 1차시험) 파두장: 1.22 $\mu$ s, 파미장: 18.9 $\mu$ s



〈그림 7〉 전파(Full 100% 2차시험) 파두장: 0.76 $\mu$ s, 파미장: -

## 2.4 권선 분석

시험을 진행한 후 변압기의 이상유무를 분석하기 위해 분해 후 그림 8과 같이 분석한 결과 변압기의 이상이 생긴 것을 알 수 있었다. 변압기의 권선이 끊어진 것은 변압기의 절연을 받고 있는 식물성절연유가 유동점에 접근함에 따라 절연능력이 급격히 감소함으로써 뇌임펄스 시험에서 권선이 전파 100%를 견디지 못하였음을 알 수 있다. 결과적으로 절연유의 유동점과 절연성능은 연관성이 있다는 것을 알 수 있었다.



〈그림 8〉 뇌임펄스 시험을 진행한 변압기 내부 권선

## 3. 결 론

이번 시험을 통해 절연유가 냉각이 진행되면 전기절연이 급격하게 나빠진다는 것을 알 수 있었다. 식물성절연유가 유동점의 온도로 냉각되는 상황에서 변압기의 권선구조의 변형이 일어나거나 절연유에서 공극이 발생하여 부분방전이 발생하였음을 예상할 수 있다. 이와 같이 변압기 자체의 높은 유동점을 유지하고 있으면 환경적인 영향으로 인하여 변압기의 절연이 문제가 된다. 하지만 정상적인 변압기의 경우에는 변압기 자체에서 발생하는 열 때문에 유동점까지 내려가는 문제점은 발생되지 않겠지만 지진, 눈사태와 같은 이유로 장기간 전기가 공급되지 않는다면 충분히 문제가 될 수 있는 부분이다. 또한 친환경을 강조하는 유럽시장, 미국시장에 진출하기 위해서는 식물성절연유의 환경적인 영향을 고려하여 제작을 해야 한다. 그에 따라 점도와 유동점 문제를 해결할 수 있는 변압기 설계에 관련한 개량 연구가 필요할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 기초전력연구원(2008T100100181) 주관으로 수행된 과제임.

## [참 고 문 헌]

- [1] Viet-Hung Dang, Beroual, A., Perrier, C., "Comparative study of streamer phenomena in mineral, synthetic and natural ester oils under lightning impulse voltage" High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Pp. 560~563, 2010.
- [2] KS C IEC 60076-4, "전력용변압기-제 4부: 뇌 임펄스 및 개폐 임펄스 시험 지침-전력용 변압기와 리액터".